Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 533-547

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۴۷-۵۳۳

مقاله علمی-پژوهشی

بررسی تأثیر مدیریت آبیاری بر نوسانات سطح آب زیرزمینی کم عمق (یک مطالعه موردی: مناطق میاندوآب و مهاباد)

عبدالرّحیم فیروزی[۱]- سید مجید میرلطیفی[۲*]- حامد ابراهیمیان[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۲/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۰

چکیده

امروزه فعالیت‌های انسانی در بخش کشاورزی به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک برروی چرخه و انتقال آب سطحی و زیرزمینی تاثیر به سزایی داشته است. از این‌رو، بررسی وضعیت منابع آب زیرزمینی دارای اهمیت است. تخمین‌های مناسب و قابل‌اعتماد تغذیه ناشی از آبیاری بر آب زیرزمینی می‌تواند در این امر موثر باشد. به منظور بررسی تأثیر آبیاری بر تغذیه آبخوان، یک مزرعه گندم، دو مزرعه جو و سه مزرعه چغندرقند در شهرستان میاندوآب و دو مزرعه گندم در شهرستان مهاباد در حوضه دریاچه ارومیه تحت مدیریت کشاورزان انتخاب شدند. شبیه‌سازی نفوذ با استفاده از مدل HYDRUS-1D در طول دوره رشد محصولات مذکور انجام شد. با پایش رطوبت خاک در این مزارع، مدل با رطوبت‌های خاک اندازه‌گیری شده از طریق حل معکوس، واسنجی و صحت‌سنجی شد. دقت مدل بعد از انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی در تخمین جریان آب در داخل خاک مناسب بود. مقادیر ضریب تعیین و خطای جذر میانگین در مرحله واسنجی به ترتیب بین ۰/۶ تا ۰/۸۵ و ۰/۱۷ تا ۰/۰۳۳ $\frac{cm^3}{cm^3}$ به دست آمد. ضریب تعیین و خطای جذر میانگین مربعات در مرحله صحت‌سنجی نیز به ترتیب بین ۰/۶۲ تا ۰/۸۸ و ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۳ ($\frac{cm^3}{cm^3}$) به دست آمد. پس از واسنجی مدل، تغییرات رطوبت در اعماق مختلف خاک تا سطح آبخوان توسط مدل شبیه‌سازی شد. پیشروی رطوبت در عمق خاک از عمق ۰/۷ تا ۴/۷ توسط مدل برآورد شد. آب آبیاری سبب تغذیه آب زیرزمینی در مزارع مورد مطالعه شد که این میزان تغذیه در اثر آبیاری و بارندگی، بسته به نوع خاک، نوع کشت و مدیریت آبیاری در مزارع مختلف متفاوت بود. بیشترین تغذیه در مزرعه H3 با خاک لوم رسی شنی به مقدار ۲۲۱ میلی متر از ۷۸۹ میلی متر مجموع آبیاری و بارندگی (۲۸ درصد) در طول فصل کشت گیاه جو بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: آبیاری، تغذیه، سطح آبخوان، شبیه‌سازی، HYDRUS-1D

مقدمه

در سال‌های اخیر منابع آب زیرزمینی حوضه دریاچه ارومیه تحت تنش آبی شدید قرار گرفته است. برای آگاهی از وضعیت منابع آب زیرزمینی، برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه آن لازم است بررسی دقیقی از بیلان آب زیرزمینی انجام شود. میزان مصرف آب در حوضه دریاچه ارومیه به طور چشم‌گیری روبه افزایش است، که بخش عمده‌ای از این مصارف مربوط به بخش کشاورزی است. از طرفی دشت‌های اطراف دریاچه ارومیه به عنوان یکی از مناطق مهم تولیدات زراعی و باغی به شمار می‌روند، اما بخاطر پایین بودن راندمان آبیاری و ضعف مدیریت منابع آب در این بخش، میزان آب مصرفی کشاورزی در آن‌ها زیاد است. با توجه به اینکه میزان تلفات آب در مزارع تحت آبیاری زیرحوضه آبریز دریاچه ارومیه درصد بالایی از آبیاری را شامل می‌شود (راندمان آبیاری ۳۸ درصد (۲))، این احتمال می رود که پایین بودن راندمان ناشی از نفوذ عمقی زیاد در مزارع منطقه مورد مطالعه باشد. نفوذ عمقی آب آبیاری در صورتی که وارد منابع آب زیرزمینی شود و کیفیت آب را هدر ندهد، جزء آب هدر رفته حساب نشده و باعث تغذیه آبخوان می‌شود. بنابراین یکی از مهم ترین پارامتر های

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
۲- دانشیار، گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس
(*- نویسنده مسئول: Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
۳- دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80020

مدیریتی در بیلان آب زیرزمینی، دانستن میزان تغذیه سالانه این منابع است که کمک بسیاری در مدیریت بهره برداری از آن‌ها می کند. سوالی که در اینجا مطرح می‌شود این است که آیا آبیاری منجر به نفوذ عمقی و در نتیجه تغذیه به آبخوان در حوضه دریاچه ارومیه می‌شود؟ روش‌های مختلفی را برای محاسبه نفوذ عمقی می توان بکار برد. اکثر روش‌های تجربی به صورت معادلات ساده بوده و تخمینی از شدت نفوذ را فراهم می‌کنند. از بین روش‌های فیزیکی در برآورد نفوذ، حل معادله‌ی عمومی جریان در محیط‌های غیراشباع(ریچاردز) یکی از روش‌هایی است که بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مدل HYDRUS-1D یکی از مدل‌های با حل عددی معادله ریچاردز شبیه‌سازی نفوذ را میسر نموده است (۱۶). از توانایی های این مدل می‌توان به تخمین خصوصیات خاک به روش حل معکوس اشاره کرد (۱). محققین بسیاری از این مدل در برآورد تغذیه استفاده کرده اند (۵، ۱۱ و ۱۳). لو و همکاران (۱۲) برای بدست آوردن تخمین بهتری از تغذیه در دشت هبی چین، پنج نقطه را در آن به عنوان نماینده کل حوضه برای بررسی اثرات آبیاری و بارندگی در تغذیه آب‌های زیرزمینی انتخاب کردند. با استفاده از مدل HYDRUS-1D تغذیه به طور متوسط در حدود ۱۷۵ میلی‌متر در سال در دشت کوهپایه‌ای غرب و ۱۳۳ میلی‌متر در سال در دشت محاسبه شد. آسفا و همکاران (۵) به منظور مدل کردن تغذیه آبخوان در حوضه اوکاناگان در کانادا، از ترکیب مدل هایدروس یک بعدی و ArcGISTM استفاده کردند. پس از ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از داده های میدانی و پارامترهای هیدرولیکی خاک بدست آمده از مدل نقشه های زمانی و مکانی تغذیه در سراسر حوضه آبریز، تولید شد. تحلیل نتایج حاصل از ۲۵ سال تغذیه آبخوان در نقاط مختلف در سراسر حوضه، نشان داد که متوسط تغذیه آبخوان، ۵۰/۸ ± ۷۷/۸ میلی متر در سال می‌باشد. پورهمت و همکاران (۱۴) در تحقیقی به بررسی تاثیر انواع سیستم‌های آبیاری برروی تغذیه آب‌زیرزمینی در منطقه کرج پرداختند. نتایج نشان داد که حدود ۱۴/۸۳، ۰/۱۴ و ۰/۸ درصد از آب آبیاری و بارندگی به ترتیب در سیستم‌های آبیاری فارو، قطره‌ای و بارانی صرف تغذیه به آبخوان شده است. یو و همکاران (۲۱) در تحقیقی تأثیر عوامل مختلف در نوسانات سطح ایستابی در شمال چین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نفوذ ناشی آبیاری ۹۲ درصد از تغذیه آب های زیر زمینی را شامل می‌شود. هدف از این پژوهش برآورد تغذیه و نوسانات سطح ایستابی ناشی از اعمال مدیریت‌های مختلف آبیاری با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی منطقه میاندوآب است. بدین منظور در ابتدا مدل HYDRUS-1D با استفاده از داده‌های رطوبت خاک که به صورت میدانی در شماری از مزارع با کشت گندم، جو و چغندرقند در شهرستان‌های میاندوآب و مهاباد در جنوب حوزه دریاچه ارومیه جمع‌آوری شده بود واسنجی گردید. پس از آن با استفاده از مدل واسنجی شده HYDRUS-1D تغذیه و نوسانات سطح ایستابی برای هرکدام از مزارع برآورد شد. لازم به ذکر است تمامی اراضی مورد استفاده در پژوهش تحت مدیریت کشاورزان بوده است.

مواد و روش‌ها

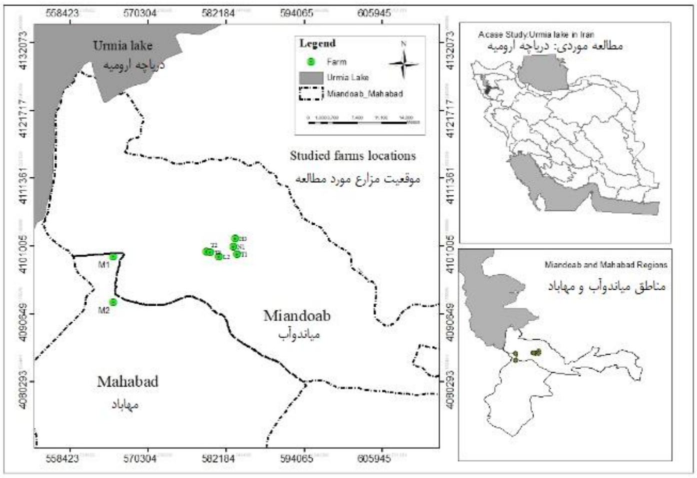
این تحقیق در سال زراعی ۹۴-۱۳۹۳ برای دو کشت گندم و جو پاییزه و چغندرقند بهاره در ۸ مزرعه در شهرستان‌های میاندوآب و مهاباد با مدیریت کشاورزان منطقه جهت مطالعه انتخاب شد (جدول ۱ و شکل ۱). آبیاری در تمامی مزارع به روش کرتی انجام شد و کشاورزان، کرت‌های آبیاری را با انتهای بسته آبیاری می‌کردند.

جدول ۱- اطلاعات عمومی مزارع در شهرستان میاندوآب و مهاباد.

Table 1- Genereal information of farms in Miandoab and Mahabad regions

ردیف Row	کد مزرعه Farms code	نام روستا Village name	نوع کشت Kind of planting	تاریخ کشت Date of planting	مساحت (هکتار) Area	منبع تامین آب Sourse of water	Xutm	Yutm
1	L2	للکلو (Lalakloo)	گندم (Wheat)	93/08/26	0.74	چاه (Well)	581199	4099363
2	N1	نظام آباد (NezamAbad)	جو (Barley)	93/08/24	0.48	رودخانه (River)*	583402	4100936
3	H3	حاج حسن (hajhasan)	جو (Barley)	93/08/23	0.55	رودخانه (River)*	4101995	4101995
4	M1	خورخوره (khorkhore)	گندم (Wheat)	93/08/13	0.92	کانال (Canal) **	565033	4099377
5	M2	خورخوره (khorkhore)	گندم (Wheat)	93/08/15	5.5	کانال (Canal) **	565072	4092432
6	T1	نظام آباد (NezamAbad)	چغندرقند (Sugarbeet)	94/01/15	0.4	رودخانه (River)*	583887	4099802
7	T2	تازه کندللکلو (Tazekandlalakloo)	چغندرقند (Sugarbeet)	94/01/15	0.62	چاه (Well)	579256	4100172
8	T3	تازه کندللکلو (Tazekandlalakloo)	چغندرقند (Sugarbeet)	94/01/15	0.78	چاه (Well)	579833	4100019

* زرینه رود. ** شبکه آبیاری و زهکشی مهاباد.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه

Figure 1- Case study

به منظور اندازه‌گیری پارامترهای بیلان آب در مزرعه‌های مورد مطالعه تغییرات رطوبت خاک به صورت دوره‌ای در طول فصل رشد با استفاده از رطوبت‌سنج PR2 که رطوبت را در اعماق مختلف تا عمق ۱۰۵ سانتی متری اندازه‌گیری می‌نماید اندازه گرفته شد. رواناب سطحی مزارع با توجه به بسته بودن انتهای آن‌ها صفر در نظر گرفته شد. تبخیر-تعرق گندم، جو و چغندرقند در منطقه از طریق مدل 8.0 CROPWAT محاسبه شد.

بافت خاک هر یک از مزارع تا عمق ۱۰۵ سانتی متری به روش هیدرومتری در آزمایشگاه تعیین گردید (جدول ۲). بافت لایه‌های مختلف خاک از عمق یک متری تا سطح آبخوان از لوگ حفاری تهیه شده توسط شرکت مهاب قدس و مطالعات خاکشناسی شبکه آبیاری زهکشی دشت زرینه‌رود استفاده شد.

جدول ۲- مشخصات بافت خاک مزارع مورد مطالعه

Table 2- Soil texture of the farms in the case study

کد مزرعه Farm code	عمق خاک Soil depth (cm)	بافت خاک Soil texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
L2	0-30	Silty clay loam	30	46	23
	30-70	Clay loam	28	41	31
	70-100	Silty loam	9	61	30
N1	0-30	Clay Loam	20	46	34
	30-70	Clay Loam	26	48	26
	70-100	loam	20	53	27
H3	0-30	Loam	20	25	55
	30-70	Sandy clay loam	16	20	64
	70-100	Sandy loam	10	19	71
M1	0-30	Sandy clay loam	18	20	62
	30-70	Sandy loam	8	18	74
	70-100	Sandy clay loam	13	21	66
M2	0-30	Clay loam	39	36	25
	30-70	Clay	41	36	23
	70-100	Loam	23	34	43
T1	0-30	Loam	6	54	40
	30-70	Loam	5	46	49
	70-100	loam	7	35	58
T2	0-30	Silty loam	8	66	26
	30-70	Silty loam	4	84	12
	70-100	Silty loam	5	81	14
T3	0-30	Silty clay	36	51	13
	30-70	Silty clay	43	41	16
	70-100	Silty clay	41	45	14

جدول ۳- تاریخ، دبی و عمق آبیاری در طول فصل رشد
Table 3- Date, Flow and irrigation depth during growing season

کد مزرعه Farm code	تاریخ آبیاری Irrigation date	دبی (لیتر در ثانیه) Flow	ساعت آبیاری (ساعت) Irrigation time	عمق (میلی‌متر) Depth
L2	2015/20/04	6.98	79	260
	2015/17/05	8.7	78	250
	2015/02/06	8.7	78	250
N1	2015/29/04	51.78	3.5	133
	2015/06/05	51.7	3.5	133
H3	2014/20/10	16.7	13	142
	2015/17/04	16.7	13	142
	2015/07/05	16.7	14	150
	2015/26/05	10.2	15	98
M1	2015/06/05	34.95	6.5	88
	2015/31/05	36.34	6.5	92
M2	2015/05/06	34	16	188
	2015/31/05	37	17	207
T1	2015/22/07	14.24	9	120
	2015/18/08	16.69	9	130
	2015/05/09	27.24	8	188
T2	2015/01/08	12.92	20	155
	2015/18/08	8.87	47	250
	2015/04/09	18.58	25	277
T3	2015/05/07	14.33	30	193
	2015/27/07	14.33	20	132
	2015/18/08	15.96	43	317
	2015/10/09	14.33	26	173

عمق آبیاری

به منظور اندازه‌گیری عمق آبیاری فلوم‌های تیپ ۴ و ۵ WSC در ابتدای مزارع نصب گردید. با پایش ارتفاع آب در فلوم و رابطه مربوطه (۶) دبی و در نتیجه عمق آبیاری بدست آمد (جدول ۳).

تبخیر-تعرق گیاهی با وارد کردن اطلاعات هواشناسی منطقه میاندوآب به مدل کراوپ‌وات بدست آمد. هم‌چنین رطوبت خاک به صورت ادواری در طول دوره رشد گیاه محاسبه شد. در ادامه با در نظرگرفتن یک ستون خاک دو متری برای هر مزرعه به کمک مدل HYDRUS-1D و وارد کردن اطلاعت بیلان آب در مقیاس مزرعه، نفوذ عمقی و تغذیه به آبخوان توسط مدل مذکور برآورد شد. لازم به ذکر است که رواناب انتهایی با توجه به بسته بودن انتهای کرت در مزارع مورد مطالعه، صفر لحاظ شد.

مدل HYDRUS-1D

مدل HYDRUS-1D یکی از مدل‌های پیشرفته در ارتباط با حرکت یک بعدی آب، املاح و گرما در خاک بوده که شامل حل عددی معادله ریچاردز برای بررسی حرکت آب در خاک و معادله انتقال- انتشار برای بررسی حرکت گرما و آب در خاک می‌باشد. در این مدل برای توصیف مشخصات هیدرولیکی خاک نظیر منحنی رطوبتی و هدایت آبی غیر اشباع روابط متعددی تعریف شده است. معمول‌ترین آن‌ها رابطه وان گنوختن-معلم (۲۰) می‌باشد.

شرایط اولیه و مرزی

با توجه به وجود بارش و آبیاری و وجود تبخیر-تعرق، شرایط مرزی بالادست جریان اتمسفری در نظر گرفته شد. شرایط مرزی پایین دست، در دو حالت به مدل تعریف شده و مدل‌سازی انجام شد. در حالتی که هدف، برآورد تغذیه به آبخوان بود، با فرض این که آب از زیر ناحیه ریشه عبور کند، شرایط مرزی پایین‌دست زهکشی آزاد در نظر گرفته شد. در شرایطی که هدف از مطالعه، تعیین نوسانات سطح ایستابی باشد، شرط مرزی پایین دست در مناطق با آب زیرزمینی کم

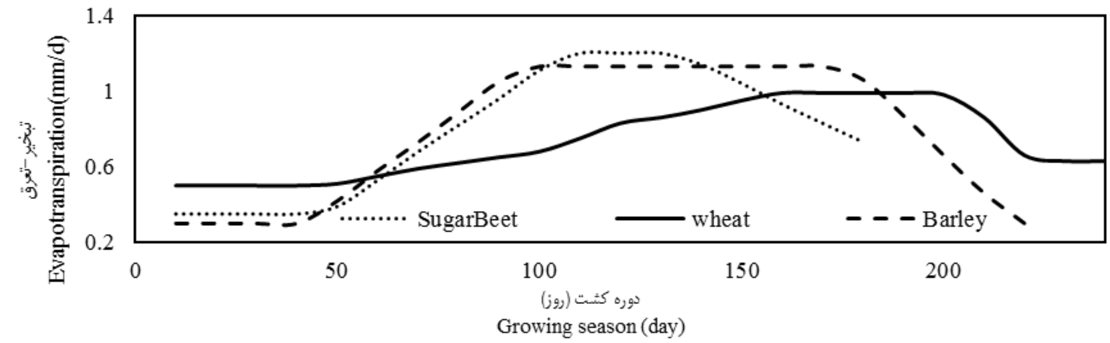
عمق، جریان ثابت با فلاکس صفر به مدل اعمال شد. از آنجایی که سطح آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه ، نزدیک به سطح زمین بود، شرط مرزی پایین دست جریان با فلاکس صفر در نظر گرفته شد (۵). شرایط اولیه مدل رطوبت بحرانی یا رطوبت خاک قبل از آبیاری فرض شد.

پارامترهای هیدرولیکی خاک

مدل خصوصیات هیدرولیکی خاک را براساس بافت خاک، با استفاده از رابطه وان گلوختن-معلم (۲۰) برآورد می‌کند. به این صورت که با وارد کردن درصد رس، شن و سیلت خاک طبق استاندارد USDA، مدل HYDRUS-1D پارامتر های هیدرولیکی خاک توسط مدل ROSETTA که مدلی واقع در مدل HYDRUS-1D می‌باشد، این پارامترها بدست آمد.

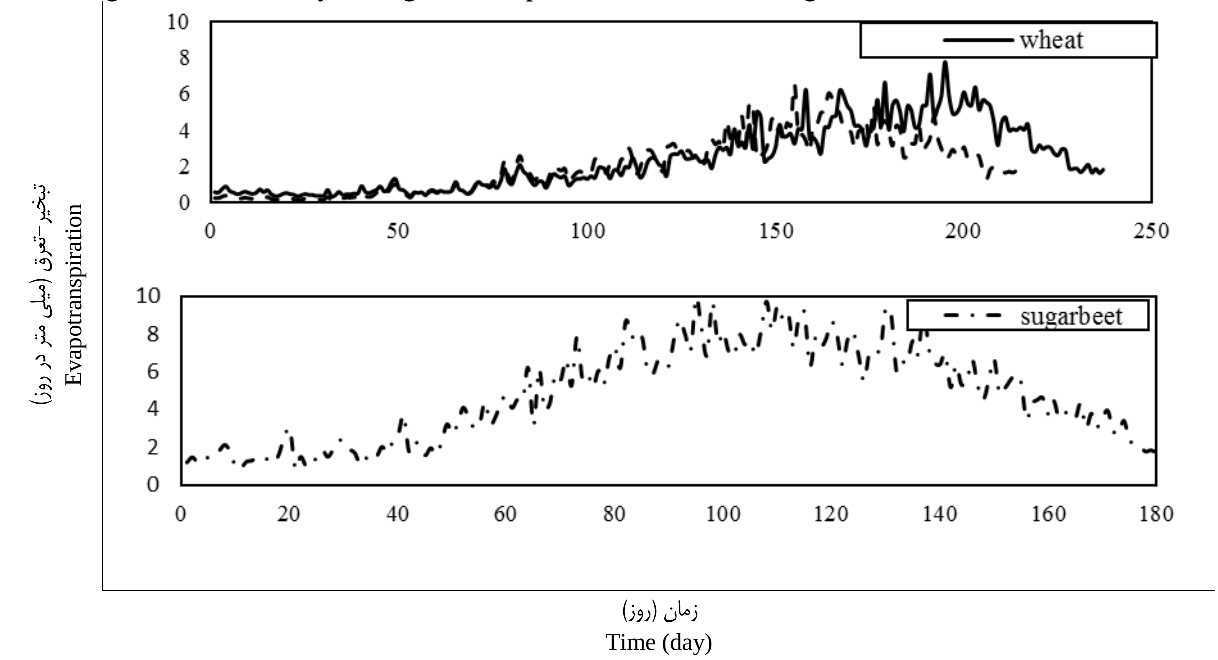
تبخیر-تعرق گیاه

از روش پنمن مانتیث (۳) برای بدست آوردن تبخیر-تعرق مرجع استفاده شد. با داشتن طول دوره رشد هر گیاه در منطقه و مقدار ضریب گیاهی بدست آمده از این مدل (شکل ۲)، مقدار تبخیر-تعرق پتانسیل هر گیاه طبق شکل ۳ محاسبه شد. لازم به ذکر است که ضریب گیاهی با استفاده از رابطه اصلاح ضرایب گیاهی نشریه فائو ۵۶ (۴) اصلاح و به مدل CROPWAT 8.0 داده شد.



شکل ۲- ضریب گیاهی مربوط به گیاه گندم، جو و چغندر با استفاده از مدل کراپ وات

Figure 2- Wheat, barley and sugar beet crop coefficient estimated using CROPWAT model



شکل ۳- تبخیر-تعرق گیاه گندم، جو و چغندر با استفاده از مدل کراپ وات

Figure 3- Wheat, barley and sugar beet evapotranspiration estimated using CROPWAT model

واسنجی مدل

واسنجی مدل HYDRUS-1D از طریق تغییر ضرایب هیدرولیکی خاک در حد قابل قبول، برای نزدیک نمودن پارامترهای شبیه‌سازی شده از جمله رطوبت در عمق‌های مختلف به مقادیر مشاهداتی انجام می‌گیرد (۱۰). این کار از طریق تغییر ضرایب هیدرولیکی خاک معادله وان گنوختن-معلم (رطوبت باقیمانده، رطوبت اشباع، ضرایب تجربی و هدایت آبی اشباع) تا عمق ۱۰۵ سانتی‌متری توسط مدل HYDRUS-1D انجام شد. برای ارزیابی کارایی واسنجی و اعتبارسنجی مدل از نمایه‌های آماری استفاده شد. این نمایه‌های آماری شامل ضریب تعیین (R^2) (۱۹)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) (۷) و جذر میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) می باشد که در ادامه رابطه هر یک آورده شده است.

(۱)، (۲) و (۳)

$$R^2 = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_{exp,i} - y_{pre,i})^2}{\sum_{i=1}^{N}(\bar{y}_{exp,i} - y_{exp,i})^2}\right] \qquad RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_{pre,i} - y_{exp,i})^2}{N}} \qquad NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(y_{pre,i} - y_{exp,i})^2}{N}}}{\bar{O}}$$

در این رابطه $y_{exp,i}$ مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک، $\bar{y}_{exp,i}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده رطوبت خاک، $y_{pre,i}$ مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل، $\bar{O}$ میانگین داده‌های شبیه‌سازی شده و N تعداد کل مشاهدات می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه داده‌ها در دو گروه مستقل بودند، از نرم‌افزار SPSS 19.0 و آزمون t به منظور مقایسه آماری داده‌های واسنجی شده و اندازه‌گیری شده استفاده شد. لازم به ذکر است که اندازه‌گیری رطوبت در مزارع مورد مطالعه، از تاریخ ۹۴/۰۲/۰۲ تا ۹۴/۰۴/۱۲ انجام شد. ۶۰ درصد داده‌های اندازه گیری شده در این مزرعه به منظور واسنجی و بقیه به منظور صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

نوسانات سطح ایستابی و برآورد تغذیه در هر مزرعه

با بررسی رطوبت شبیه‌سازی شده توسط مدل در عمق‌های مختلف، تغییرات رطوبت در طول فصل کشت در حالت وجود و عدم وجود بارش (آبیاری و بارندگی) مشخص شد. در صورتی که رطوبت در هر یک از اعماق بالای سطح آبخوان در انتهای فصل کشت به حد اشباع رسیده باشد، این عمق نشان‌دهنده بالا آمدن سطح آبخوان خواهد بود. باید به این نکته توجه کرد که چه مقدار از افزایش رطوبت در عمقی که به حد اشباع رسیده است مربوط به خیز موئینگی می باشد. این موضوع با بررسی تغییرات رطوبت در حالت بدون آبیاری و بارندگی مشخص خواهد شد. شبیه‌سازی نفوذ با استفاده از مدل HYDRUS-1D در سال ۹۴-۱۳۹۳ به صورت روزانه انجام شد. سپس نتایج تغذیه روزانه ناشی از بارندگی و آب آبیاری در مزارع توسط مدل برآورد شد. عمق توسعه ریشه گیاهان مورد مطالعه در این تحقیق، حداکثر یک متر در نظر گرفته شد. بنابراین به منظور برآورد میزان تغذیه ناشی از آبیاری و بارندگی، با در نظر گرفتن ستون خاک دو متری برای هر مزرعه و با این فرض که جریان عبور کرده از انتهای ستون خاک دو متری پس از مدتی به آبخوان بر می‌گردد، میزان جریان عبور کرده از انتهای این ستون خاک به عنوان تغذیه ناشی از آبیاری و بارندگی به آبخوان در نظر گرفته شد و شرط مرزی پایین دست در مدل، زهکشی آزاد در نظر گرفته شد (۵).

نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی

با توجه به مقایسه نتایج مدل بعد از واسنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده، میزان ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به ترتیب بین ۰/۶ تا ۰/۸۵ و ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۳۳ ($\frac{cm^3}{cm^3}$) بدست آمد. از مقایسه پارامترهای آماری قبل و بعد از واسنجی، مشخص است که واسنجی مدل باعث نزدیک شدن رطوبت شبیه سازی شده توسط مدل در اعماق مختلف تا ۰/۶۵ متری به داده‌های رطوبت اندازه‌گیری شده توسط دستگاه رطوبت‌سنج شده است. برای اطمینان از نتایج حاصل از واسنجی مدل، نیاز به صحت‌سنجی داده های بدست آمده می‌باشد. دقت مدل به وسیله رطوبت‌های مشاهداتی بدست آمده از دستگاه رطوبت‌سنج PR2 از منطقه مورد مطالعه پس از واسنجی، مورد ارزیابی قرار گرفت. با مقایسه نتایج مدل در مرحله صحت‌سنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده، میزان ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به ترتیب بین ۰/۶۲ تا ۰/۸۸ و ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۳ ($\frac{cm^3}{cm^3}$) بدست آمد. با بررسی رطوبت پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده در تمامی مزارع تفاوت معناداری بین داده‌ها مشاهده نشد ($P\text{-value} > 0.05$). بنابراین کمترین میزان ضریب تعیین در مزرعه T3 با خاک لومی رسی و بیشترین مقدار آن در مزرعه H3 با خاک لوم شنی بدست آمد. به طور کلی، مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی رطوبت در خاک‌های سبک و متوسط داشت. سلامتی و همکاران (۱۶) از مدل HYDRUS-1D در شبیه‌سازی انتقال آب در آبیاری جویچه‌ای استفاده کردند. نتایج ضریب تعیین میزان رطوبت مشاهده ای و شبیه سازی شده ۶۲/۷ گزارش شد. ابراهیمیان و همکاران (۷) از داده های مشاهده ای و شبیه‌سازی شده مدل HYDRUS بعد از واسنجی در آبیاری جویچه ای متناوب، ۷۲ درصد برآورد شد. نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی در این مطالعه در مقایسه با پژوهش های پیشین از دقت خوبی برخوردار بود.

نتایج تغییرات رطوبت خاک در عمق‌های مختلف توسط مدل و حجم آبخوان

نتایج تغییرات رطوبت خاک در عمق‌های مختلف در حالت وجود و عدم وجود بارش (آبیاری و بارندگی) شبیه‌سازی شد (شکل ۴). همانطور که مشاهده می‌شود، تغییرات رطوبت در عمق‌های مختلف خاک، بسته به مقدار به مدیریت آبیاری اعمال شده توسط کشاورز متفاوت می‌باشد؛ چنانچه در مزارع N1، M1 و M2 نفوذ عمقی ناچیز بود و در نتیجه تغییرات رطوبت خاک در طول فصل رشد در عمق‌های مختلف در مزرعه اول و دوم تا عمق ۱ متری و در مزرعه سوم تا عمق ۰/۷ متری توسط مدل شبیه‌سازی شد.

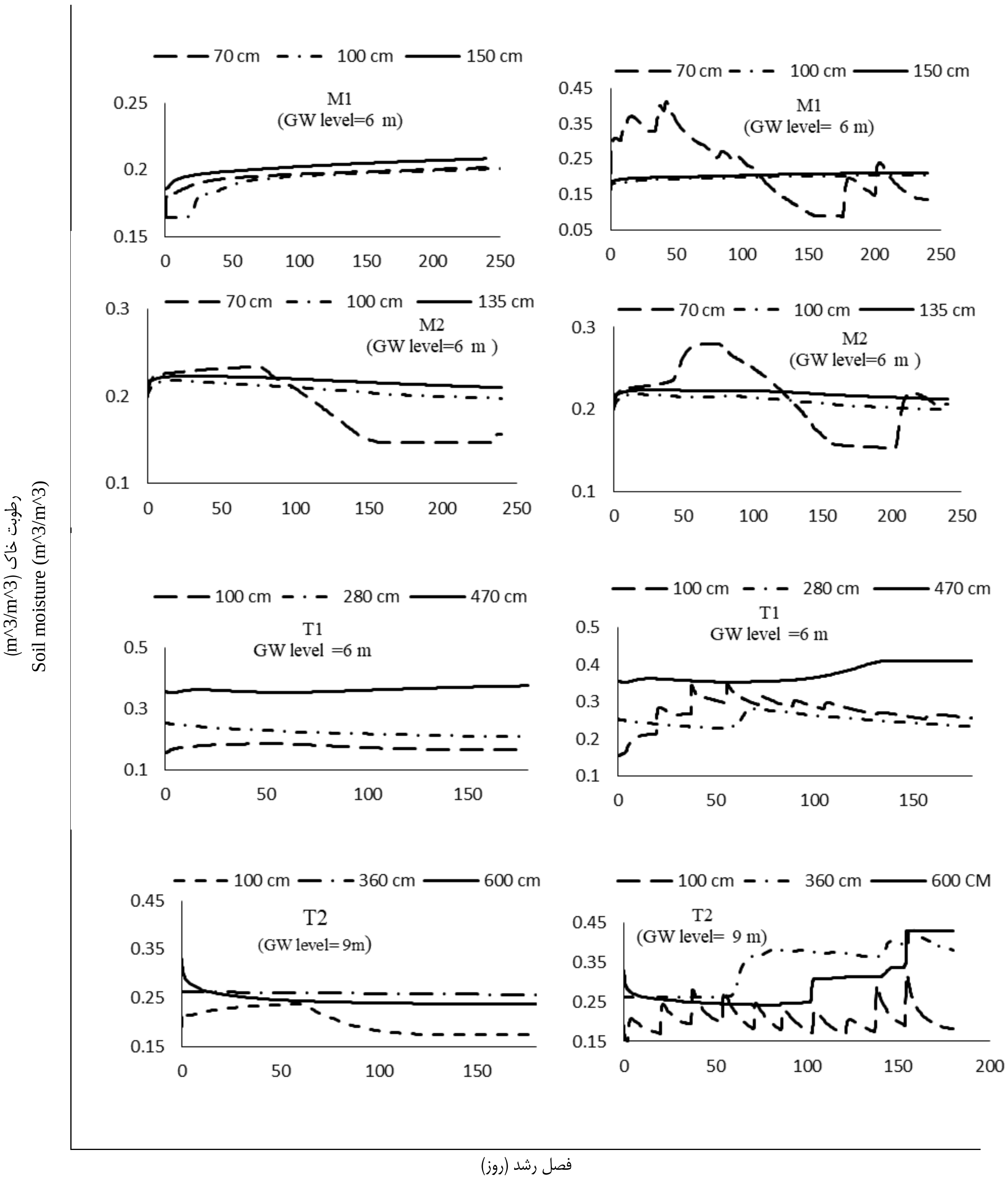
در مزرعه H3 تغییرات رطوبت خاک در عمق‌های مختلف تا ۳/۵ متری برآورد گردید. سطح آبخوان در این مزرعه در عمق ۵ متری بود. ازآنجایی‌که جبهه رطوبت ناشی از آبیاری و بارندگی حداکثر تا عمق ۳/۵ متری پیشروی کرد (مزرعه H3)، با توجه به میزان آب مصرفی در این مزرعه (۷۸۹ میلی متر) و مقایسه آن با تبخیر-تعرق پتانسیل گیاه در منطقه (برای گیاه جو ۴۳۰ میلی‌متر)، اضافه آبیاری در این مزرعه مشاهده شد، اما پیشروی جبهه رطوبتی ناشی از آبیاری و بارندگی تا سطح آبخوان ادامه نداشت. در مزرعه L2 با کشت گندم، مقدار نفوذ عمقی زیاد بوده به‌طوری‌که افزایش رطوبت خاک در فصل کشت در این مزرعه در عمق ۳/۹ متری از ۰/۳ به ۰/۴۳ $\frac{cm^3}{cm^3}$ بوده و رطوبت خاک در این عمق به حد اشباع رسید. رطوبت به اعماق پایین‌تر از عمق ۳/۹ متری نیز رسید. بنابراین درصورتی‌که مدیریت آبیاری این مزرعه در کل منطقه مورد مطالعه اعمال شود، سطح آبخوان ۱/۱ متر بالا خواهد آمد (سطح آبخوان در عمق ۵ متری). البته شرایطی مانند برداشت از چاه‌ها و جریان آب زیرزمینی در این بررسی در نظر گرفته نشده است. تغییرات رطوبت خاک در مزرعه T1 در عمق ۴/۷ متری این نکته را نشان می‌دهد که رطوبت خاک در این عمق به حد اشباع رسید و پیشروی جبهه رطوبتی در اثر آبیاری و بارندگی تا این عمق ادامه داشت. در مزرعه T2 در کشت چغندرقند، تغییرات رطوبت خاک در طول فصل کشت تا عمق ۶ متری مشاهده شد و رطوبت خاک در این عمق به حد اشباع رسید. درنهایت، در مزرعه T3 افزایش رطوبت خاک در عمق‌های مختلف در اثر آبیاری تا عمق ۵ متری ادامه داشت. یکی از دلایل نفوذ عمقی بالا در مزارع L2 و T2 عمق آبیاری بالا (به‌ترتیب ۲۶۰ و ۲۷۷ میلی‌متر) در مزرعه بود. لاریجانی و همکاران (۱۱) در مطالعه‌ای اثر آبیاری را بر سطح آبخوان در منطقه هشتگرد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در آبیاری سطحی با توجه به اینکه عمق زیادی از آب یکباره به زمین داده می‌شود، تلفات نفوذ عمقی زیاد است

در ادامه به منظور بررسی تأثیر خیز موئینگی در بالای سطح آبخوان، مدل در شرایط بدون آبیاری و بارندگی اجرا شد و تغییرات رطوبت در اعماق بالای سطح آبخوان در مزارع مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بدون آبیاری و بارندگی در مزرعه L2 خیز سطح ایستابی تا عمق ۴ متری انجام می‌گیرد (شکل ۵). بنابراین آبیاری و بارندگی ۲۶ سانتی‌متر در افزایش سطح آبخوان تأثیر داشته است با اجرای مدل در شرایط بدون بارش (آبیاری و بارندگی) در مزرعه H2 این نتیجه را می‌توان گرفت که این مقدار افزایش رطوبت خاک در اثر آبیاری و بارندگی بوده است. نتایج در حالت وجود بارش در مزرعه T1 نشان داد که رطوبت خاک تا عمق ۴/۷ متری به حد اشباع رسید. در حالتی که مدل بدون اعمال آبیاری و بارندگی اجرا شد، رطوبت خاک در عمق ۴/۷ متری از ۰/۳۵ به ۰/۳۷ $\frac{cm^3}{cm^3}$ رسید که نشان‌دهنده تأثیر خیز موئینگی بود. درحالی‌که باوجود آبیاری و بارندگی، میزان افزایش رطوبت خاک از ۰/۳۵ به ۰/۴۱ $\frac{cm^3}{cm^3}$ بود و رطوبت در این عمق به حد اشباع رسید.

با بررسی نتایج مدل در عمق‌های مختلف عمیق‌تر از عمق ۶ متر تا سطح آبخوان در مزرعه T2 (آبخوان در عمق ۹ متری) مشاهده شد که تأثیر خیزموئینگی در این مزرعه تا عمق ۷/۳ متری اتفاق افتاد در حالی که طبق شکل ۳، نوسانات سطح ایستابی با وجود بارش تا عمق ۶ متری ادامه داشت و رطوبت در این عمق از ۰/۳۵ به ۰/۴۳ $\frac{cm^3}{cm^3}$ افزایش پیدا کرد. با بررسی رطوبت خاک در شرایط با و بدون بارش در مزرعه T3 مشخص شد که تأثیر خیز موئینگی تا ۵/۵ متری اتفاق افتاده و رطوبت خاک را تا این عمق به حد اشباع رسانده، درحالی‌که با اعمال شرایط بارش در مدل، عمق ۵ متری نیز به حد اشباع رسید. بنابراین درصورتی‌که این مدیریت آبیاری در تمام مزارع حوضه اعمال شود، آبیاری و بارندگی ۵۰ سانتی‌متر باعث افزایش سطح آبخوان خواهد شد. فرایند آبیاری در مزارع دارای سطح آب زیرزمینی کم‌عمق تاثیر بیشتری در تغذیه به آبخوان دارد (۱۵).

تغذیه ناشی از آبیاری در مزارع

میزان تغذیه ناشی از آبیاری و بارندگی، تبخیر-تعرق واقعی و تبخیر-تعرق پتانسیل مزارع به صورت ماهانه در شکل ۶ ارائه شده است. مقدار تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل گیاه، از مدل فدس و همکاران (۸) بدست آمد. اختلاف بین میزان تبخیر-تعرق واقعی و پتانسیل نشان دهنده تنش وارد شده به گیاه می‌باشد. با توجه به شکل ۶ می‌توان گفت در تمامی کشت ها، بیشترین مقدار تغذیه زمانی اتفاق افتاد که میزان تبخیر-تعرق کمتر بود. میزان تغذیه در مزارع N1، M1 و M2 بسیار ناچیز بود که این به‌دلیل کم آبیاری زارعین بوده که مجموع آبیاری آن‌ها از نیاز آبی گیاه کمتر بود (عمق خالص آبیاری برای گندم، جو و چغندرقند در منطقه میاندوآب طبق محاسبات نرم افزار CROPWAT8.0، به ترتیب ۳۰۸، ۲۷۳ و ۷۳۶ میلی‌متر در فصل رشد بدست آمد).

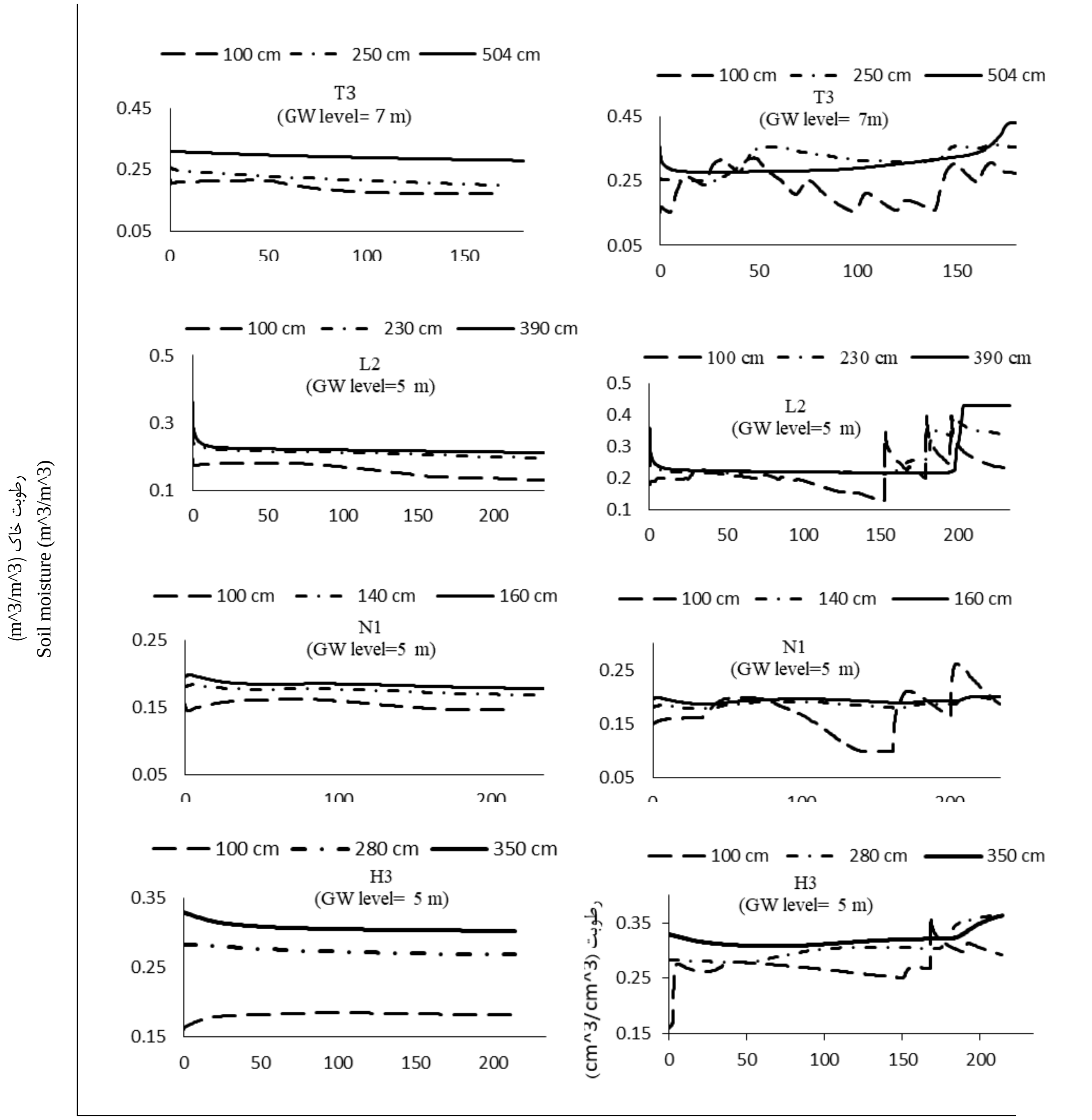


شکل ٤- تغییرات رطوبت خاک در اعماق مختلف در مزارع

(شکل سمت راست با اعمال بارش و سمت چپ بدون اعمال بارش می‌باشد).

Figure 4- Soil moisture variations at various soil depths in the farms

(The right side figure is with precipitation and the left side figure is without precipitation).

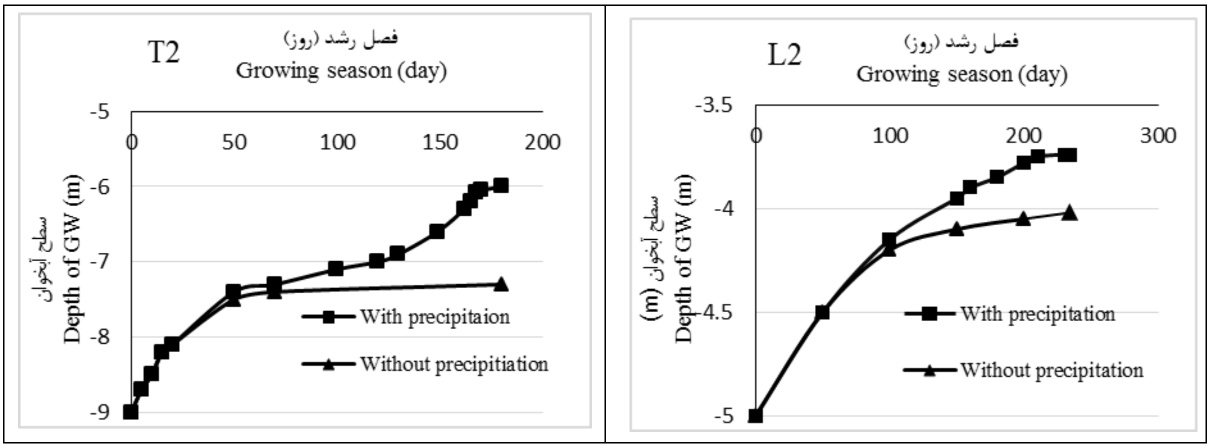


ادامه شکل ٤- تغییرات رطوبت خاک در اعماق مختلف خاک در مزارع

(شکل سمت راست با اعمال بارش و سمت چپ بدون اعمال بارش می‌باشد).

Figure 4- Soil moisture variations at various soil depths in the farms

(The right side figure is with precipitation and the left side figure is without precipitation).



شکل ۵- نوسانات سطح آبخوان در طول فصل کشت در دو حالت با وجود بارش و بدون وجود بارش
Figure 5- Aquifer level fluctuations during the growing season with and without precipitation

با توجه به نیاز خالص و آب مصرفی گندم در مزرعه N1، راندمان کاربرد آبیاری این مزرعه ۷۰ درصد برآورد شد. بنابراین نفوذ عمقی و درنتیجه تغذیه به آبخوان بسیار ناچیز بود. بیشترین درصد تغذیه مربوط به مزرعه T2 و H3 می‌باشد که به ترتیب ۲۸ و ۲۷ درصد از آب آبیاری و بارندگی را شامل می‌شود. بافت سبک در ناحیه ریشه یکی از دلایل مقدار نفوذ عمقی زیاد و درنتیجه تغذیه در مزرعه H3 می‌باشد. هم‌چنین طولانی بودن کرت آبیاری در مزرعه T2 دلیل موثر در افزایش تغذیه به آبخوان بود. گرادفرامرزی و همکاران (۹) تغذیه آب زیرزمینی را در زیرحوضه کرون در منطقه اصفهان مورد بررسی قرار دادند.

نتایج نشان داد بسیاری پارامترها مانند خصوصیات خاک، عمق سطح ایستابی، مقدار بارش، تبخیر-تعرق و عمق سطح ایستابی بر میزان آب نفوذ یافته به صورت تراوش عملی منجر به تغذیه خواهد شد موثرند و به دلیل وابسته بودن این پارامترها به عوامل مختلف نامعلوم در تخمین آن روش های مختلف تغذیه به نتایج مختلفی منجر می شود.

جیمز مارتینز و همکاران (۱۰) به منظور محاسبه آب برگشتی ناشی از آبیاری دو مزرعه کاهو و خربزه در کامپو کارتاجنا در جنوب شرقی اسپانیا، از مدل HYDRUS-1D استفاده کردند. نتایج نشان داد که ۲۲ تا ۶۸ ٪ از آب آبیاری صرف تغذیه در این حوضه می‌گردد. آن‌ها میزان تغذیه در کشت تابستان را کمتر از کشت زمستان گزارش نمودند. در تحقیق مشابهی که در منطقه کرج توسط پورهمت و همکاران (۱۸) انجام شد، تغذیه آب زیرزمینی در اراضی تحت آبیاری سطحی بین ۱۹ تا ۲۲۸ میلی‌متر برآورد شد که به مقادیر بدست آمده در این پژوهش نزدیک بود.

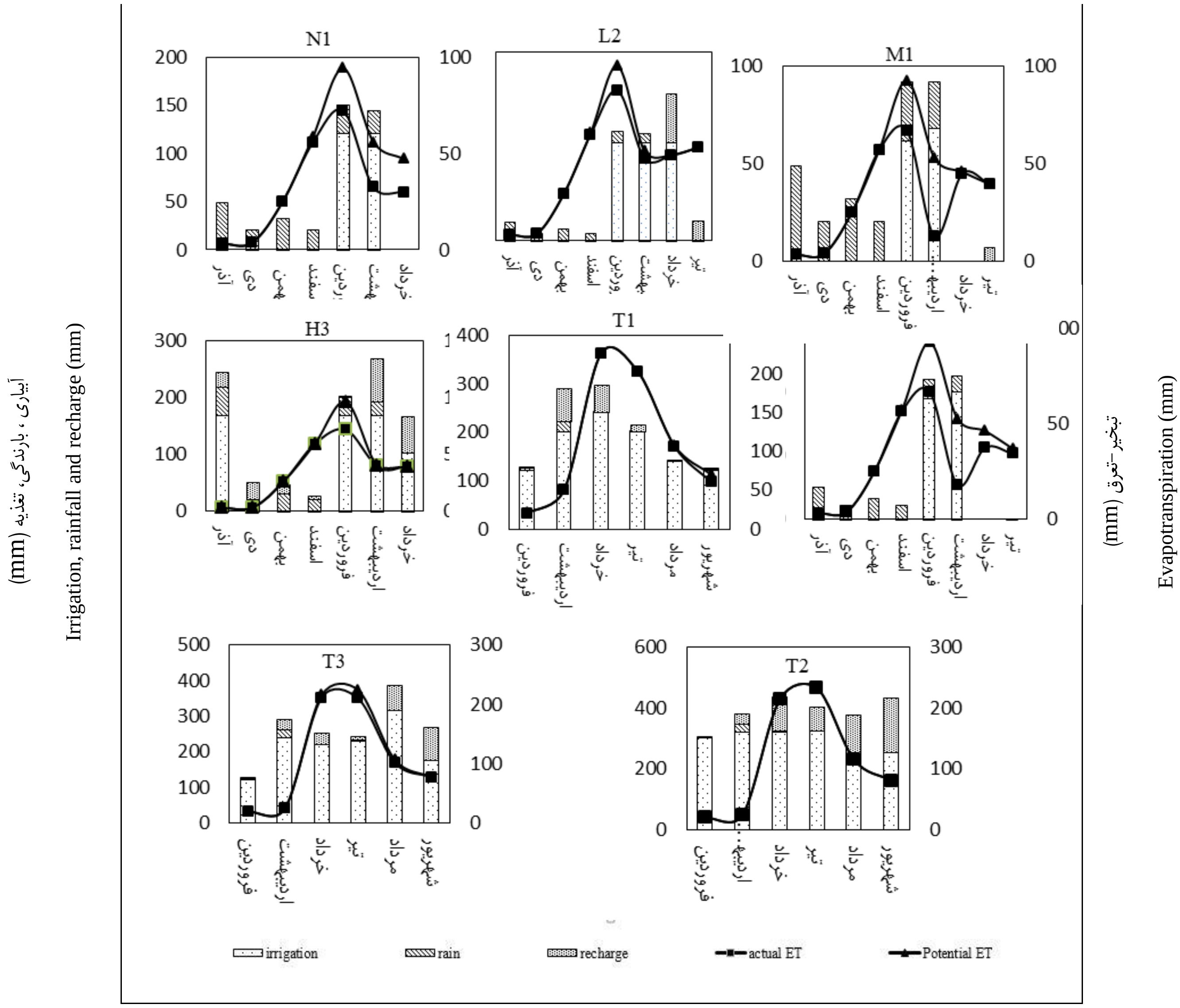
در شکل ۷ عوامل تأثیرگذار بر میزان تغذیه نشان داده شده است. با توجه به شکل، روند منطقی در تأثیر افزایش طول کرت و بافت خاک بر روی تغذیه مشاهده شد، به‌طوری‌که هر چه طول کرت آبیاری در مزارع بیشتر بود میزان نفوذ عمقی و درنتیجه تغذیه به آبخوان افزایش پیدا کرد. هم‌چنین هرچه بافت خاک ناحیه ریشه سبک‌تر بود میزان تغذیه بیشتر بود. شکل ۷ نشان می‌دهد که تنها عمق آبیاری بر تغذیه مؤثر نیست، بلکه عواملی مانند بافت خاک و طول کرت نقش دارند. مثلا در مزرعه T3 عمق آب آبیاری زیاد است اما بافت خاک سنگین می‌باشد.

نتیجه‌گیری

کشاورزی بخش عظیمی از آب زیرزمینی را مصرف می کند. در سال های اخیر منابع آب زیرزمینی در حوضه دریاچه ارومیه به دلیل استفاده زیاد از این منبع تحت تنش آبی شدید قرار گرفته است. در این مطالعه سعی شده با برآورد میزان تغذیه به آبخوان های کم عمق در اثر آبیاری شناخت بیشتری نسبت به تاثیر این منبع بر آب‌های زیرزمینی حاصل شود. علاوه بر این تاثیر مدیریت کشاورزان در اراضی خورده مالکی و اراضی تحت شبکه آبیاری در تغذیه آبخوان مورد بررسی قرار گرفت. به همین منظور ۸ مزرعه در جنوب حوضه دریاچه ارومیه در شهرستان‌های میاندوآب و مهاباد انتخاب شد. شبیه سازی نفوذ با استفاده از مدل HYDRUS-1D در طول دوره رشد محصولات مذکور انجام گرفت. واسنجی مدل HYDRUS-1D در مزارع، با استفاده از پایش رطوبت خاک به صورت میدانی انجام شد. پیشروی جبهه رطوبتی در عمق پروفیل خاک تا سطح آبخوان توسط مدل مذکور شبیه‌سازی شد. هم‌چنین میزان تغذیه به آبخوان در طول فصل کشت در مزارع مختلف برآورد شد. با مقایسه نتایج مدل بعد از واسنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده رطوبت خاک در روزهای مشخصی از فصل کشت، میزان ضریب تعیین و خطای جذر میانگین مربعات به ترتیب ۰/۶ تا ۰/۸۵ و ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۳۳ $\frac{cm^3}{cm^3}$ به دست آمد.

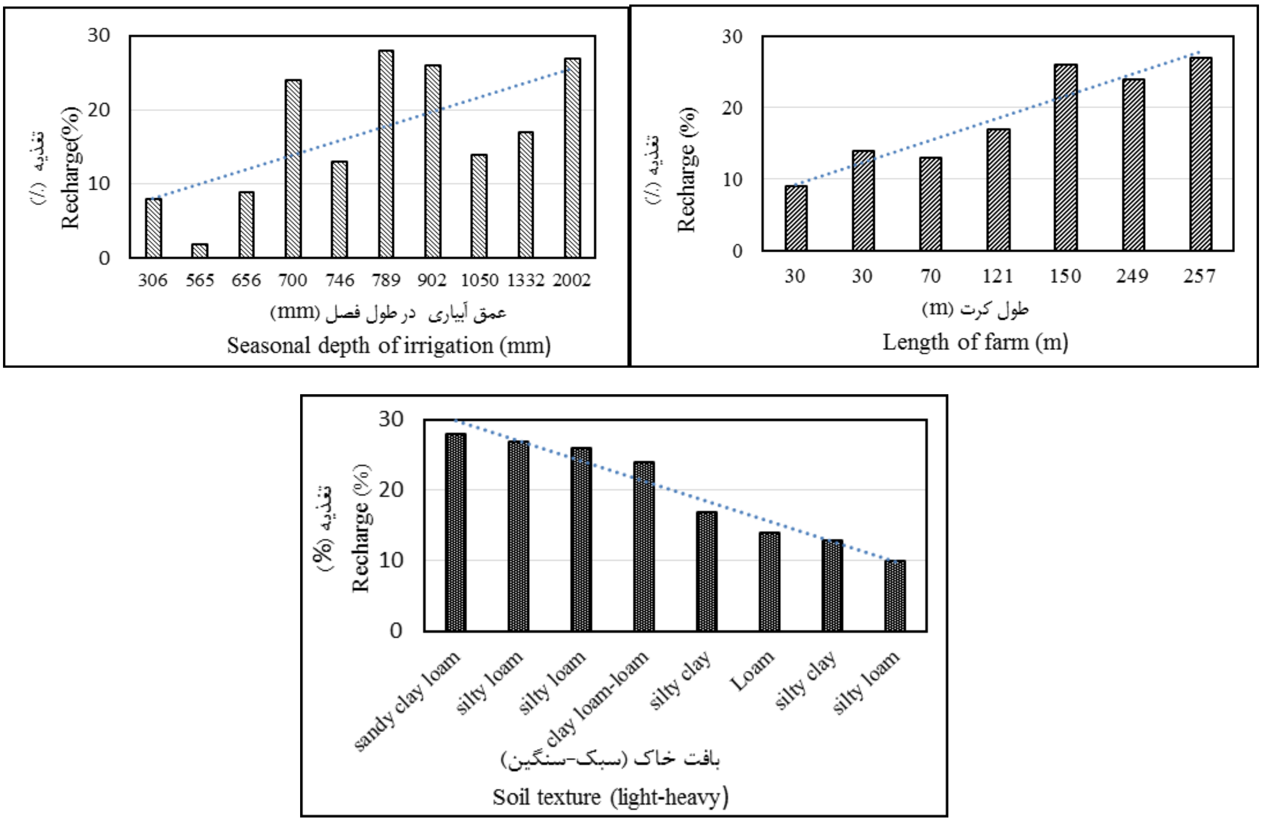
با مقایسه نتایج مدل در مرحله صحت‌سنجی و داده‌های اندازه‌گیری شده، میزان ضریب تعیین (R^2) و خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به ترتیب بین ۰/۶۲ تا ۰/۸۸ و ۰/۰۰۲ تا ۰/۰۲۳ ($\frac{cm^3}{cm^3}$) به دست آمد. بیشترین مقدار آن در مزرعه H3 با خاک سندی لوم به دست آمد. دقت مدل بعد از انجام مراحل واسنجی و صحت‌سنجی در تخمین جریان آب در پروفیل خاک مناسب بود. مدل دقت بیشتری در برآورد رطوبت خاک در خاک‌های سبک و متوسط داشت.

نتایج نشان داد که تغذیه در مزارعی که آبیاری در زمان مناسب انجام شده بود (مانند مزارع N1، M1 و M2 به مقدار ۱، ۸ و ۲ میلی‌متر در طول فصل کشت) کمتر از مزارعی بود که آبیاری زمان و مقدار آبیاری در آن‌ها نامناسب بود (مانند مزرعه H3 به مقدار ۲۲۱ میلی‌متر). البته مدیریت زارع در این امر بی تاثیر نبود. هم‌چنین بافت خاک تاثیر زیادی در تغذیه به آبخوان داشت؛ چنانچه در مزرعه H3 و T2 با خاک سبک و متوسط، تغذیه ناشی از بارش به‌ترتیب ۲۲۱ و ۵۴۰ میلی‌متر از مجموع آبیاری و بارندگی (۷۸۹ و ۲۰۰۰/۲ میلی‌متر) بود. با توجه به برنامه‌ریزی مناسب کشاورز در مزارع M1 و M2 و اعمال به اندازه و به موقع آبیاری نفوذ عمقی کم بود و در نتیجه تغذیه به سطح آبخوان ناچیز بود (۳ و ۰/۳۵ کل بارش). نتایج بدست آمده از این تحقیق در تاثیر آبیاری در تغذیه به آبخوان، ضرورت درنظر گرفتن تلفات نفوذ عمقی در تغذیه آب زیرزمینی و لحاظ کردن آن در مدیریت منابع آب را نشان داد. هم‌چنین نفوذ عمقی باید در مزارع به دلیل مسائل زیست محیطی (مانند آبشویی کود) به حداقل رساند.



شکل ٦- تغییرات ماهانه تغذیه، آبیاری ، بارندگی، تبخیر-تعرق پتانسیل و تبخیر-تعرق واقعی (mm)

Figure 6- Monthly variation of groundwater recharge, irrigation, rainfall, potential evapotranspiration and actual evapotranspiration depth (mm)



شکل ۷- درصد تغذیه در مزارع بر اساس طول کرت، عمق آبیاری در طول فصل و بافت خاک از سبک به سنگین

Figure 7- Percentage of groundwater recharge according to lengths of borders, Seasonal irrigation depths and soil texture from light to heavy texture

سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت و پشتیبانی طرح حفاظت از تالاب‌های ایران و در قالب پروژه همکاری در احیاء دریاچه ارومیه از طریق مشارکت جوامع محلی در استقرار کشاورزی پایدار و حفاظت از تنوع زیستی در معرض خطر با حمایت مالی دولت ژاپن انجام گرفته است.

منابع

1- Abbasi F. 2005. Simulation of water movement in the soil, using HYDRUS-1D, Workshop on Irrigation and Drainage Modeling, National Committee on Irrigation and Drainage Iran, Tehran. (In Persian)

2- AhmadZadeh H. 2012. Evaluate the efficiency of agricultural water using SWAT model, case study: Zarrine rood region, Master's thesis. Facility of agriculture, Tarbiat Modares University. (In Persian)

3- Allen R.G., Howell T.A., Pruitt W.O., Walter I.A., and Jensen M.E. 1991. Lysimeters for evapotranspiration and environmental measurements. The Standardized Refrence Evapotraspiration Equation.

4- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., and Smith M. 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9):D05109.

5- Assefa K.A., and Woodbury A.D. 2013. Transient, spatially varied groundwater recharge modeling. Water Resources Research 49(8): 4593-4606.

6- Chamberlain A.R. 1952. Measuring water in small channels with WSC flume. Washington Agricultural Experiment Stations, Institute of Agricultural Sciences, State College of Washington.

7- Ebrahimian H., Liaghat A., Parsinejad M., Playán E., Abbasi F., and Navabian M. 2013. Simulation of 1D surface and 2D subsurface water flow and nitrate transport in alternate and conventional furrow fertigation. Irrigation Science 31(3): 301-316.

8- Feddes R.A., Kowalik P.J., and Zaradny H. 1978. Simulation of field water use and crop yield. Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, The Netherlands.

9- Geradfaramarzi S., and Abedi Koupai J. 2010. Quantification of groundwater recharge in Isfahan (Iran) using the

CRD model. Journal of Water and Wastewater 21(4): 92-97
10- Jiménez-Martínez J., Skaggs T.H., Van Genuchten M.T., and Candela L. 2009. A root zone modelling approach to estimating groundwater recharge from irrigated areas. Journal of Hydrology 367(1): 138-149.
11- Larijani SH., Noori H., and Ebrahimian H. 2017 Estimating groundwater recharge by HYDRUS-1D model (Case study: Hashgerd). Iranian Journal of Irrigation and Drainage 4(11):572-585 (In Persian with English abstract)
12- Lu X., Jin M., van Genuchten M.T., and Wang B. 2011. Groundwater recharge at five representative sites in the Hebei Plain, China. Ground Water 49(2):286-294.
13- Neto D.C., Chang H.K., and van Genuchten M.T. 2016. A mathematical view of water table fluctuations in a shallow aquifer in Brazil. Groundwater 54(1): 82-91.
14- Porhemmat J., Nakhaei M., Dadgar M.A., and Biswas A. 2018. Investigating the effects of irrigation methods on potential groundwater recharge: A case study of semiarid regions in Iran. Journal of Hydrology 565:455-466.
15- Qiguang D.O.N.G., Weibo Z.H.O.U., Yang Z.H.A.N.G., Ying H.O.U., Zenghui S.U.N., and Na L.I. 2017, November. Effects of irrigation on groundwater recharge under deep buried depth condition. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 94(1): 012159.
16- Salamati N., Delbari M., Abbasi F., Sheini Dashtgol. 2016. A Simulation of Water and Nitrate Transport in Soil Using HYDRUS-1D Model in Furrow Irrigation of Sugarcane. Journal of Water and Soil Science -Isfahan University of Technology 19(74): 179-192
17- Šimůnek J., Van Genuchten M.T., and Šejna M. 2006. The HYDRUS software package for simulating two-and three-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. Technical Manual Version, 1:241.
18- Simunek J.I.Ì.Í., and Hopmans J. 2002. 1.7 Parameter Optimization and Nonlinear Fitting. Methods of Soil Analysis: Part 4 Physical Methods 1(5): 139-57.
19- Steel R.G.D., and Torrie J.H. 1960. Principles and procedures of statistics. Principles and procedures of statistics.
20- Van Genuchten M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Science Society of America Journal 44(5): 892-898.
21- Yue W., Liu X., Wang T., and Chen X. 2016. Impact of water saving on groundwater balance in a large-scale arid irrigation district, Norg west China. Irrigation Science 1-16.

Journal of Water and Soil
Vol. 34, No. 3, July-August 2020, p. 533-547

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۴، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۹، ص. ۵۴۷-۵۳۳

Effects of Irrigation Water Management on Fluctuations of Shallow Groundwater Level (Case Study: Miandoab and Mahabad Regions)

A. Firoozi[1]- S.M. Mirlatifi[2]*- H. Ebrahimian[3]
Received: 29-04-2019
Accepted: 30-05-2020

Introduction: Agriculture consumes a large portion of groundwater resources. In order to understand the status of groundwater resources in a basin and to optimize its management, it is necessary to carry out an accurate examination of the fluctuations in the groundwater levels. Recharging groundwater aquifers is one of the main strategies for water resources management which its accurate estimation plays a crucial role in the proper management of ground water resources. That portion of the excess irrigation water which becomes in the form of deep percolation should not be considered as wasted water, if its quality is not adversely reduced and it enters and recharges groundwater aquifers. The question is whether deep percolations resulting from irrigating farms with low application efficiencies and poor irrigation management in the Urmia basin would finally recharge ground water aquifers or not. In order to provide a solution to the aforementioned question, after calibrating HYDRUS-1D model, it was used to estimate the fluctuations of the levels of the water tables as a results of irrigations or rainfalls in a number of wheat, barley and sugar beet fields located in Miandoab and Mahabad regions where all agricultural practices were managed and carried out by the local farmers.

Materials and Methods: In order to ascertain the effects of irrigation on the groundwater recharge, the required field data was collected from nine agricultural fields including one wheat farm, three barley farms, and three sugar beet farms, all located in the Miandoab region and two wheat fields located in the Mahabad region. All the water balance parameters for each one of the fields were measured in the studied fields, including the depth of irrigation at each irrigation event by using WSC flumes. The Surface runoff from the studied farms was considered as negligible, since all the fields were irrigated using closed end borders. The evapotranspiration of wheat, barley and sugar beet were calculated in the regions using the CROPWAT8.0 model.

The soil texture of each of the study fields were determined by hydrometric method in the laboratory and then soil hydraulic parameters were estimated by ROSETTA model. The soil moisture of all the fields during the growing season were measured using a PR2 moisture meter instrument measuring soil moisture at various depths up to 105 cm below the soil surface. The amount of deep percolation occurring during the growing season was simulated by the HYDRUS-1D model. The soil water content measured by PR2 (Delta-T Device) probe were used for HYDRUS-1D model calibration and validation using the inverse solution method. Because of the occurrence of rainfall, irrigation and evapotranspiration, the atmospheric boundary condition was selected as the upper boundary condition and free drainage was considered as the lower boundary condition in order to estimate the groundwater recharge, assuming that water passes through and below the root zone. In areas with shallow ground water depth, constant flow with zero flux was chosen as the lower boundary condition in order to determine the fluctuations of the ground water level. Since the groundwater level in this case study was shallow, zero flux was considered as the lower boundary condition. The soil moisture content before irrigation was selected as the modelling initial condition.

Result and Discussion: The HYDRUS-1D model was calibrated by comparing the model estimated soil moisture contents with the corresponding measured values which indicated the coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) values ranging from 0.6 to 0.85 and 0.17 to 0.033 ($\frac{cm^3}{cm^3}$), respectively. Another set of measured soil moisture data which was collected by using PR2 instrument and was not used for

1- Former Graduate Student, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water Engineering and Management, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
(*- Corresponding Author Email: mirlat_m@modares.ac.ir)
3- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Eng, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Iran
DOI: 10.22067/jsw.v34i3.80020

calibrating the model, was applied to verify the model simulation of the soil moisture content. Comparing the measured and simulated soil moisture contents at this verification stage resulted in coefficient of determination (R^2) and root mean square error (RMSE) values ranging from 0.62 to 0.88 and 0.002 to 0.023 ($\frac{cm^3}{cm^3}$), respectively. There was no significant difference between the predicted and measured soil moisture data in all the fields (P-value> 0.05). The minimum and the maximum coefficient of determinations in the validation stage were obtained in the T5 field with a silty loam soil and in the H3 field having a sandy loam soil. The accuracy of the model performance after it was calibrated and verified using the collected field data, was appropriate for estimating the soil water content during the growing season. The model was used to simulate the soil water contents from the soil surface to the depth of the water table during the growing season to evaluate the degree of aquifer recharge if any happened. The soil moisture front advanced to a depth of 0.7 m below the soil surface in the M1 field and to 4.7 m in the T1field. The amount of groundwater recharge varied from field to field depending on each field's soil type, cultivation and irrigation management including the depth and the time of the irrigations. The amount of groundwater recharge increased by decreasing crop evapotranspiration. The percentage of ground water recharge in N1, M1 and M2 fields due to limited availability of water resources which resulted in deficit irrigation was very low. The irrigation water requirements estimated by the CROPWAT model for the aforementioned fields were more than the depths of the irrigation water applied by the farmers. The CROPWAT model estimated the irrigation water requirements during the growing season for wheat, barley and sugar beet in the Miandoab region to be 308, 273 and 736 mm, respectively. However, the depths of irrigation applied to such farms ranged from 306 to 500 mm.

Conclusion: This research was conducted to ascertain the effects of local farmer's irrigation management practices considered as poor management in some areas with plenty of water resources available and rainfall on the amount of the groundwater recharge occurring in the regions studied located in the Lake Urmia basin. The simulated groundwater recharge by the HYDRUS-1D model indicated that the amount of recharge varied from field to field depending on soil type, cultivation and irrigation management practices. In all the fields, the highest amount of groundwater recharge occurred when the crop evapotranspiration was low and therefore, enhancing deep percolation to take place. The highest percentage of groundwater recharge was 28% of the sum of the irrigation and rainfall depths which occurred in the barley field (H3).

Keywords: Groundwater level, HYDRUS, Irrigation, Recharge, Simulating